

PENGEMBANGAN DISAIN TUNGKU BAHAN BAKAR KAYU RENDAH POLUSI DENGAN MENGGUNAKAN DINDING BETON SEMEN

***Bambang Yunianto, Nazarudin Sinaga, Ramanda S.A.K**
 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
 Jl.Prof.Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia
 *Email: b_yunianto@undip.ac.id

ABSTRAK

Kelangkaan minyak tanah dipasaran dan harga yang mahal mendorong masyarakat khususnya masyarakat pedesaan kembali ke penggunaan kayu bakar untuk keperluan memasak. Hal ini mendorong peningkatan polusi asap, akibat penggunaan tungku yang sederhana. Dengan penelitian ini dikembangkan disain tungku yang lebih efisien dan rendah polusi. Dalam penelitian ini digunakan tungku modifikasi dengan dinding tungku dari beton cor semen dan isolator udara dalam dinding. Pengujian tungku dilakukan dengan memanaskan air hingga 98 C pada dua panci (29 cm dan 37 cm) serta menggunakan kayu bakar pada dua tingkat kekeringan (16 % dan 24 %). Dari hasil pengujian diketahui bahwa pemanasan air dengan panci kecil (29 cm) dan kayu kering (16 %) menghasilkan efisiensi terbaik (20 %). Sedangkan pada panci besar (37 cm) dan kayu basah (24 %) menghasilkan efisiensi terendah 16 %. Dari pengujian tersebut diatas, tungku dinding beton cor semen, tetap masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan tungku tradisional yang hanya mempunyai efisiensi 13 %. Mengkaji data pengujian yang dihasilkan, kami tim peneliti berkesimpulan bahwa prototipe tungku ini layak digunakan di masarakat pedesaan dan industri kecil.

Kata kunci: *Tungku, pembakaran, efisiensi, beton cor, isolator udara.*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Industri kecil dan menengah diberbagai bidang produksi relatif masih berjalan dengan baik, walau ada kendala ketersediaan bahan bakar minyak tanah yang mulai sulit ditemui dipasaran, dan mahal. Pelaku industri kecil demikian juga masarakat kota umumnya menggunakan bahan bakar minyak tanah dan sekarang banyak beralih ke LPG. Namun bagi industri kecil dan masarakat pedesaan bahan bakar minyak ataupun LPG dirasakan terlalu mahal, apalagi subsidi pemerintah cenderung berkurang. Juga faktor kepercayaan masarakat terhadap keamanan penggunaan LPG dirasa masih ada. Sehingga program konversi minyak ke LPG belum berhasil maksimal khususnya di industri kecil dan masarakat pedesaan. Untuk mengatasi permasalahan mahalnya energi minyak dan gas, dan mempertahankan rasa aman terhadap penggunaan bahan bakar, masarakat pedesaan dan industri kecil cenderung kembali ke tungku bahan bakar kayu.

Bahan bakar kayu merupakan salah satu bahan bakar Biomassa, yang paling banyak di gunakan di Indonesia. Sebagai bahan bakar, biomassa memiliki beberapa keuntungan terutama sifat terbarukannya, yaitu bahan bakar tersebut dapat diproduksi ulang, sehingga pelestarian energi dan pelestarian alam dapat dipertahankan. Bahan bakar kayu untuk tungku mudah didapat dan murah. Namun karena teknologi tungku yang dipakai sederhana, maka pencemaran udara karena asap dan gas-gas keluaran lainnya masih tinggi. Mengingat data dari kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) yang menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar dari Biomassa (kayu) cukup tinggi (tabel 1), maka pencemaran lingkungan secara Nasional akibat penggunaan bahan bakar kayu juga masih tinggi. Salah satu cara meminimalkan pencemaran ini, perlu mendisain atau memodifikasi tungku bahan bakar kayu yang lebih efisien dan rendah polusi. Konsep disain tungku yang efisien adalah menciptakan proses pembakaran yang sempurna. Pembakaran sempurna bahan bakar dapat dicapai jika suhu ruangan, bahan bakar dan rasio udara bahan bakar pada kondisi yang diinginkan.

Untuk pembakaran yang sempurna, suhu ruangan dan kayu harus tinggi serta ukuran kayu kecil dan kering. Untuk mendapatkan suhu ruang bakar yang tinggi, maka dinding ruang bakar didisain dengan menggunakan bahan bertahanan panas tinggi (isolator). Bahan isolator ini sangat penting untuk mencegah panas hilang, sehingga suhu ruang bakar tetap dapat dipertahankan tinggi. Rasio bahan bakar –udara yang tepat untuk pembakaran sempurna perlu diatur dengan membuat sirkulasi udara dalam ruang bakar berlangsung baik. Disain panjang pendeknya saluran udara menentukan laju aliran udara (sirkulasi alami) dalam ruang bakar yang selanjutnya mempengaruhi sempurna tidaknya proses pembakaran. Pada disain tungku kayu bakar, dimensi, bahan dan suhu ruang bakar, serta ukuran bahan bakar kayu merupakan kajian penelitian ini. Dari kajian ini diharapkan akan diperoleh disain tungku yang mempunyai efisiensi tinggi dan mempunyai nilai kompetitif dengan jenis tungku dan kompor lainnya.

Tabel 1. Konsumsi Energi Indonesia berdasarkan tipenya

(Thousand BOE)

Year	Biomass	Coal	Natural Gas	Fuel	Other Petroleum Product	Briquette	LPG	Electricity	Total
2000	269,042	36,060	87,214	315,272	13,435	85	8,261	48,555	777,925
2001	268,953	37,021	82,235	328,203	25,712	78	8,280	51,841	802,325
2002	270,207	38,698	80,885	325,202	22,688	83	8,744	53,418	799,926
2003	271,974	68,264	90,227	321,384	23,533	77	8,766	55,473	839,748
2004	271,765	55,344	85,459	354,317	37,716	80	9,187	61,393	875,261
2005	270,043	65,744	86,634	338,375	29,614	94	8,453	65,644	864,601
2006	276,271	89,043	83,221	311,913	41,126	94	9,414	69,071	880,153
2007	275,126	121,904	80,178	314,248	39,873	89	10,925	74,376	916,720
2008	277,874	74,939	85,311	312,190	16,658	155	15,718	79,138	861,984
2009	279,145	82,587	118,452	333,962	25,922	219	25,259	82,567	948,112

Penelitian ini adalah tindak lanjut dari penelitian tahun lalu (tahun 2010), yaitu tungku bahan bakar kayu yang menggunakan isolator abu kayu dan glass wool. Hasil pengujian dari penggunaan kedua jenis isolator itu mampu menghasilkan peningkatan efisiensi tungku 30 % hingga 40 %, jika dibandingkan dengan tungku tradisional (Bambang Yunianto, 2010). Namun dari hasil pengujian terhadap tungku tersebut mempunyai kendala, yaitu tungku dengan isolator glass wool relatif mahal dan mudah terbakar, jika pemasangan isolatornya kurang sempurna. Sementara tungku dengan isolator abu kayu, mengalami hambatan ketersediaan abu kayu yang terbatas jika produksi tungku dalam jumlah besar. Disamping kendala isolator tersebut, juga bahan dinding tungku dari logam (plat besi) mudah terjadi korosi dan kurang awet. Jika diinginkan disain yang lebih sempurna dipilih bahan dari logam baja tahan karat, sehingga menjadikan harga tungku menjadi mahal. Untuk mengatasi hambatan diatas perlu dicari bahan konstruksi dan jenis isolator yang mudah didapat dan murah. Untuk itu kami mempertimbangkan pemakaian beton semen sebagai konstruksi tungku dan udara sebagai isolator dengan mengacu disain tungku yang digunakan pada penelitian sebelumnya. Target dari hasil pengujian ini adalah mengetahui efisiensi tungku dan membandingkan dengan efisiensi tungku pada penelitian sebelumnya, dengan target prestasi tungku yang sama atau tidak begitu jauh dengan prestasi tungku logam yang sudah diteliti sebelumnya dengan kelebihan harga yang murah dan mudah dibuat.

1.2. Proses pembakaran

Pembakaran sempurna adalah proses pembakaran dimana gas buang yang dihasilkan terdiri dari gas CO₂ dan Air. Sebaliknya pembakaran tidak sempurna, gas hasil pembakaran disamping dua gas tersebut, terdapat juga gas-gas lain hasil dari pembakaran tidak sempurna, seperti gas CO, HC, NO_x dan partikel padat. Untuk pembakaran bahan bakar padat, partikel padat umumnya dalam bentuk abu, seperti halnya hasil sisa pembakaran batu bara dan kayu bakar.

Pembakaran kayu tidak dapat terjadi langsung pada bahan bakar cair ataupun gas. Pada kayu, proses pembakaran melalui dua tahap yaitu pirolisis dan pembakaran. Pada proses pirolisis terjadi reaksi endotermal, artinya kayu yang dipanasi akan menaikkan temperatur kayu, dari suhu ruang hingga 500 C (F.L. Browne, 2006). Pada kondisi ini terjadi pelepasan gas/uap dan bahan-bahan lain yang menguap. Setelah penguapan gas-gas tersebut dan temperatur kayu mencapai temperatur pembakaran, maka pembakaran akan berlangsung dengan ditandainya nyala api dari kayu. Warna nyala memberikan indikasi energi panas yang dihasilkan. Makin terang nyala api energi panas pembakaran makin tinggi. Kayu yang benar-benar kering akan meningkatkan efisiensi pembakaran dan mempersingkat waktu penyalan.

Efisiensi pembakaran bahan bakar sangat tergantung dari proses pencampuran bahan bakar dan oksigen. Pada bahan bakar cair ataupun gas, proses pencampuran bahan bakar –udara relatif lebih mudah sehingga partikel padat yang dihasilkan relatif sedikit, yaitu berupa jelaga yang menempel pada dinding ruang bakar. Sedangkan pada bahan bakar padat proses terjadinya pencampuran bahan bakar –udara jauh lebih sulit, sehingga banyak abu yang dihasilkan. Abu atau residu hasil pembakaran bahan bakar padat selain akibat terjadinya pembakaran tidak sempurna, juga diakibatkan oleh komposisi bahan bakar yang mengandung bermacam-macam bahan yang merupakan bahan tidak bisa

terbakar. Oleh karena itu proses pembakaran dalam tungku bahan bakar kayu memerlukan persyaratan yang lebih kompleks dari pada pembakaran bahan bakar cair.

Pembakaran sempurna bahan bakar kayu akan terjadi jika memenuhi beberapa persyaratan berikut (Peter Scott, 2005):

- 1) Suhu ruang bakar dan kayu bakar tinggi, kurang lebih 650°C

Suhu ruang bakar dan suhu kayu bakar tinggi diperlukan untuk melepaskan uap air dan gas-gas yang bisa menguap dari kayu, sehingga mempermudah pembakaran dapat berlangsung sempurna. Untuk mempertahankan suhu ruang bakar tinggi, maka perlu dipasang isolator pada dinding, sehingga kerugian panas ke lingkungan dapat diperkecil. Isolator dipilih yang mempunyai konduktansi rendah dan memiliki kemampuan memantulkan panas yang tinggi. Pada disain Dinding tungku dari beton cor semen bukan isolator yang baik, sehingga untuk meningkatkan kualitas hambatan panas (isolator) maka dalam dinding dibuat rongga –rongga udara. Udara mempunyai nilai konduktansi (isolator) yang rendah dan tersedia dialam tanpa diperlukan biaya untuk memanfaatkannya.

- 2) Ukuran kayu dibuat kecil dan kering.

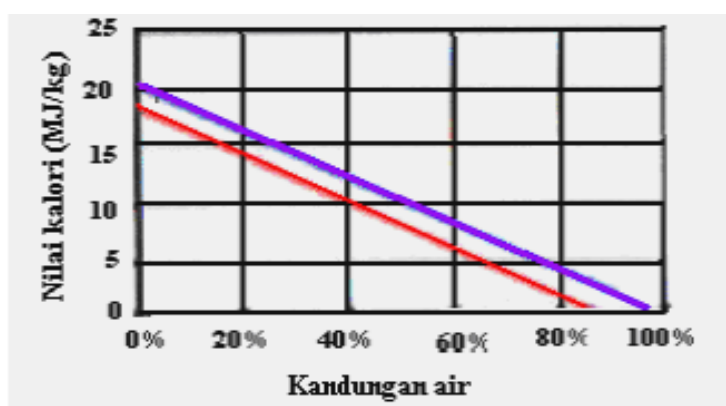
Ukuran kayu kecil dimaksudkan untuk memperluas permukaan kayu, sehingga kontak dengan udara dapat berlangsung baik. Hal ini dapat meningkatkan rasio jumlah udara bahan bakar (AFR) dan proses pencampuran udara bahan bakar berlangsung lebih sempurna.

- 3) Sirkulasi udara dalam ruang bakar berlangsung baik.

Kecukupan udara untuk proses pembakaran perlu diciptakan sehingga pembakaran kayu bakar berlangsung baik. Ketidak cukupan udara akan berakibat banyaknya bahan bakar yang tidak terbakar. Sebaliknya, udara berlebihan akan mengakibatkan suhu ruang bakar yang rendah, sehingga banyak asap yang terjadi akibat dari efisiensi pembakaran rendah. Untuk menciptakan sirkulasi udara yang sesuai dengan kebutuhan proses pembakaran perlu didisain dimensi dan tinggi ruang bakar yang memungkinkan tarikan udara alami dalam ruang bakar dapat berlangsung baik. Disamping itu pengaturan tinggi rendahnya panci terhadap ujung tungku perlu dicari posisi optimumnya untuk meyakinkan terjadinya aliran udara dalam ruang bakar.

- 4) Kandungan air (kelembaban) kayu

Kandungan air dalam kayu akan berpengaruh terhadap nilai kkalor kayu, yang selanjutnya mempengaruhi proses pembakaran. Kayu kering mempunyai nilai kalor tinggi dan sebaliknya kayu basah mempunyai nilai kalor rendah seperti ditunjukkan pada gambar grafik berikut.

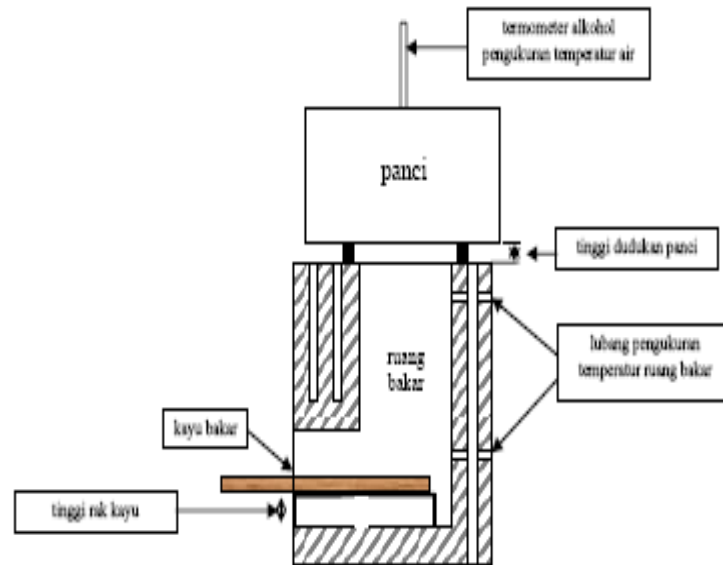


Gambar 1. Kandungan air dan Nilai Kalor bahan bakar kayu Garis merah = LHV, garis biru =HHV

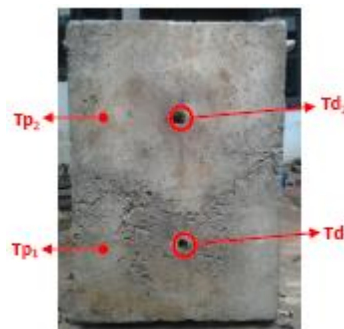
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Desain alat uji/Tungku

Disain alat uji atau Tungku bahan bakar kayu pada prinsipnya adalah modifikasi dan mengembangkan tungku-tungku bahan bakar kayu yang sudah ada. Kontruksi tungku dibuat dari beton cor semen dengan ukuran panjang, lebar dan tinggi masing-masing 40x50x50 cm. Diameter ruang bakar 18 cm. Dalam dinding tungku diberikan rongga udara yang berfungsi sebagai isolator. Penempatan panci pada jarak 0,8 cm diatas permukaan atas tungku. Instalasi tungku uji dan kelengkapannya secara skema ditunjukkan dengan Gambar 2 Pengukuran dilakukan pada dua panci dengan ukuran 29 cm dan 37 cm serta kondisi dua tingkat kelembaban kayu yang berbeda (20 % dan 16 %). Temperatur dinding luar T_{p1} , T_{p2} dan temperatur ruang bakar T_{d1} , T_{d2} diukur dengan menggunakan termometer infra merah. Temperatur permukaan dinding diukur dengan menembakkan sinar infra merah ke permukaan dinding, sementara temperatur dinding ruang bakar dilakukan melalui lubang yang ada pada dinding hingga menembus dinding ruang bakar, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Skema tungku bahan bakar kayu



Gambar 3. Titik-titik dan Lubang pengukur temperatur dinding tungku.

2.2. Langkah pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengambil data jumlah kayu bakar yang terpakai dalam proses pembakaran (dalam gram), jumlah air yang dipanaskan, temperatur air akhir dan temperatur dinding luar ataupun temperatur dinding dalam ruang bakar. Pengambilan data dilakukan setelah kondisi tungku dalam kondisi stedi. Kayu sisa dan abu dikeluarkan dan diganti dengan kayu yang baru dengan timbangan yang telah ditentukan. Berat kayu yang terbakar (dalam gram) dihitung dari berat awal dikurangi berat sisa kayu untuk periode pemanasan air sebanyak 8 liter. Pemanasan air diakiri setelah temperatur air mendekati mendidih (98 C). Pengukuran berat kayu terbakar digunakan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar kayu per volume air atau yang disebut konsumsi bahan bakar spesifik (persamaan 1) dan juga efisiensi tungku (persamaan 2). Efisiensi tungku adalah perbandingan jumlah panas yang berguna untuk memanaskan hingga temperatur tertentu (98 C) terhadap jumlah panas masukkan dari bahan bakar kayu. Konsumsi spesifik (SC) dan efisiensi tungku (η), merupakan parameter prestasi tungku yang dinyatakan persamaan 1, dan 2 berikut:

$$SC = m_b/V_{air} \quad (1)$$

$$\eta = m_a.C. (T_d - T_a) / m_b.NK \quad (2)$$

Keterangan:

m_a, m_b = Masa air, masa bahan bakar
 C = Panas jenis air
 T_d = Temperatur didih air
 T_a = Temperatur air awal
 NK = Nilai kalor

Adapun data-data pengukuran temperatur dinding luar dan dinding ruang bakar digunakan untuk menganalisa kerugian kalor dari tungku. Pengujian dilakukan secara bergantian dari kayu basah (kelembaban 20 %) ke kayu kering (kelembaban 16 %). Untuk pengambilan data temperatur dilakukan dengan dua cara yaitu, pembakaran kayu bakar

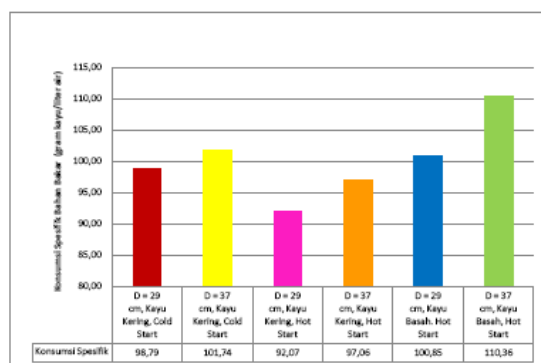
dilakukan saat kondisi tungku masih dingin (*cool start*) dan cara kedua setelah tungku sudah dalam keadaan panas (*hot start*). Masing-masing cara pengujian digunakan pada dua jenis panci, besar (37 cm) dan kecil (29 cm).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian ditunjukkan dengan Gambar 4 s.d 6, yang menunjukkan prestasi tungku bahan bakar kayu, yang dinyatakan dengan konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi tungku. Hasil pengujian dipengaruhi oleh tingkat kandungan air pada kayu dan ukuran panci pemanas air.

3.1. Konsumsi spesifik terhadap variasi pengujian

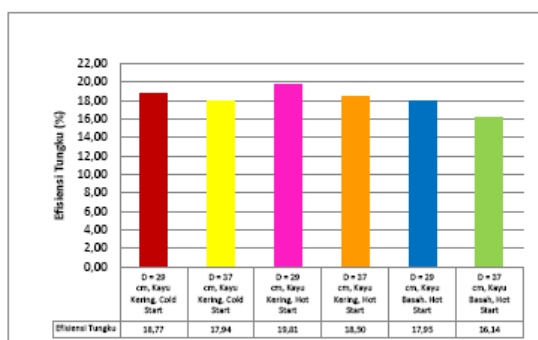
Yang dimaksud variasi pengujian adalah digunakannya dua jenis kayu (basah dan kering), dua ukuran panci (besar dan kecil) dan cara pengoperasian tungku (*hot start* dan *cool start*). Dari Gambar 4, diketahui bahwa konsumsi spesifik bahan bakar akan meningkat dengan makin keringnya kayu. Pada kayu basah (kandungan air 24 %) dan pada panci kecil (diameter 29 cm) menghasilkan konsumsi spesifik 101 gr/Lt, sedangkan pada kayu kering (kandungan air 16 %) terjadi penurunan konsumsi spesifik menjadi 92 gr/Lt. Sementara pada panci besar (diameter 37 cm) konsumsi spesifik terjadi peningkatan menjadi 110 gr/Lt (kayu basah) dan 97 gr/Lt untuk kayu kering.



Gambar 4. Konsumsi spesifik tungku terhadap variasi pengujian

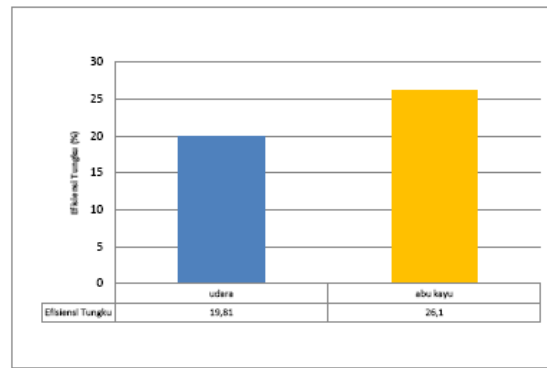
Hal ini sesuai dengan nilai kalor kayu dipengaruhi oleh kandungan air seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Makin kering kayu maka terjadi peningkatan nilai kalornya, sehingga menurunkan konsumsi spesifiknya. Prestasi tungku juga dipengaruhi oleh saat dimulainya operasi tungku. Tungku yang masih dingin akan berbeda prestasinya dengan saat tungku sudah panas. Dari Gambar 4 juga ditunjukkan perbedaan operasi tungku saat dingin (*cold start*) dan saat panas (*hot start*). Konsumsi spesifik pada saat operasi dingin adalah 101 gr/Lt, lebih tinggi dari pada saat operasi pada kondisi panas sebesar 92 gr/Lt. Jika dibandingkan dengan pengujian pada tungku tradisional, konsumsi bahan bakar kayu mencapai 177,5 gram/L air, yang masih lebih tinggi dari pada tungku dengan dinding cor semen.

3.2. Efisiensi Tungku terhadap variasi pengujian.



Gambar 5. Efisiensi tungku terhadap variasi pengujian

Dari Gambar 5 diatas dapat diketahui bahwa efisiensi tungku setara dengan konsumsi spesifik. Dengan konsumsi spesifik yang rendah (hemat bahan bakar) berarti juga akan menghasilkan efisiensi yang tinggi, demikian pula sebaliknya. Efisiensi tertinggi (20 %), terjadi pada pemanasan air dengan panci kecil (29 cm) dan kayu kering (16 %) Sedangkan pada panci besar (37 cm) dan kayu basah (24 %) menghasilkan efisiensi terendah 16 %. Dari pengujian tersebut diatas, tungku dinding beton cor semen, tetap masih lebih tinggi jika dibandingkan dengan tungku tradisional yang hanya mempunyai efisiensi 13 %.



Gambar 6. Perbandingan prestasi tungku dinding cor dengan tungku logam isolator abu.

Dari dua data pengujian diatas (SC dan η), dapat diketahui bahwa modifikasi tungku dengan dinding dari cor semen masih lebih tinggi efisiensinya dibandingkan dengan tungku tradisional. Meskipun jika dibandingkan dengan tungku logam dengan isolator abu kayu (Gambar 6), masih lebih rendah efisiensinya, namun tungku ini mempunyai keunggulan ditinjau dari konstruksi dan kemudahan pembuatannya. Sehingga tungku dinding cor semen ini masih layak untuk diterapkan di masarakat pedesaan dan industri kecil.

4. KESIMPULAN

Dari data dan analisis diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Konsumsi spesifik (92 gr/lt) dan efisiensi tungku terbaik (20 %) terjadi pada penggunaan kayu kering (kelembaban 16 %) dan berlangsung pada operasi tungku panas serta pengujian dengan panci kecil (29 cm).
- 2) Prestasi tungku dengan dinding cor semen ($\eta = 16\%$ s.d 20%) masih lebih rendah dari pada tungku logam dengan isolator abu kayu ($\eta = 26\%$) namun masih lebih tinggi dari pada prestasi tungku tradisional ($\eta = 13\%$).
- 3) Mengacu pada dua kesimpulan diatas, maka tungku dengan dinding cor semen ini masih layak untuk diterapkan di masarakat pedesaan dan industri kecil.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang.Y, 2010. "Disain Tungku kayu bakar rendah polusi untuk industri kecil dan masarakat pedesaan." UNDIP, Semarang.
- [2] Baldwin, Samuel,F, 1987, "Biomass stove, engineering design, development dissemination," Princeton university, USA.
- [3] Bryden, Mark,dkk,2002, "Design principles for wood burning cook stove ", Approvecho research center.
- [4] Fandi Ahmad, 2011, "Pengaruh tinggi dudukan panci dan rak kayu terhadap efisiensi tungku bahan bakar kayu ". Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5] F.L. Browne, 2006, "Theories of the combustion of wood and its control", Forest Products Laboratory, US Departement of Agriculture.
- [6] Peter Scott, 2005, "Stove Design and performance", WHO IAP Workshop, Kampala Uganda.
- [7] Voss, John, 2004, " Biomass energy for heating and hot water supllly in Belarus," BTG Biomass energy group BV, Nederland.